

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y  
RIGIDEZ DE UN HORMIGÓN ORDINARIO EN RELACIÓN A UNO  
REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO EXPUESTO A  
TEMPERATURAS ALTAS**

**AUTOR:  
ALVARO XAVIER MURIEL SÁNCHEZ**

**TUTORA:  
LUCERO MARISOL SERRATO ARIAS**

**Quito, mayo del 2018**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Alvaro Xavier Muriel Sánchez, con documento de identificación N° 1723202709, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RIGIDEZ DE UN HORMIGÓN ORDINARIO EN RELACIÓN A UNO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO EXPUESTO A TEMPERATURAS ALTAS**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Nombre: Alvaro Xavier Muriel Sánchez

Cédula: 1723202709

Fecha: Quito, mayo del 2018

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, Lucero Marisol Serrato Arias declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RIGIDEZ DE UN HORMIGÓN ORDINARIO EN RELACIÓN A UNO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO EXPUESTO A TEMPERATURAS ALTAS, realizado por Alvaro Xavier Muriel Sánchez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, mayo del 2018



.....  
Atentamente

Lucero Marisol Serrato Arias

C.I: 1757028897

# **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RIGIDEZ DE UN HORMIGÓN ORDINARIO EN RELACIÓN A UNO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO EXPUESTO A TEMPERATURAS ALTAS**

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPRESSIVE STRENGTH AND RIGIDITY OF AN ORDINARY CONCRETE RESPECT TO ONE REINFORCED WITH POLYPROPYLENE FIBERS EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES**

Alvaro Muriel<sup>1</sup>

### **Resumen**

En el presente artículo académico se analizó un acercamiento al comportamiento de la resistencia a la compresión y la rigidez, mediante el cálculo del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson de un hormigón. Las variables utilizadas fueron el refuerzo del hormigón con fibras de polipropileno en porcentajes correspondientes al 0.30% y 0.50% del peso del cemento; así como la exposición a un horno de laboratorio, con la intención de emular el aumento de la temperatura que sucede progresivamente en un incendio, variando entre temperatura ambiente, 130°C y 180°C. Para obtener estos datos se fabricaron cilindros normalizados para su posterior ensayo.

De los resultados obtenidos se concluyó que el porcentaje óptimo de fibra de polipropileno tomando en cuenta la exposición a temperaturas altas fue del 0.50%, ya que reportó un incremento significativo en la resistencia a la compresión, lo que significaría la preservación de esta supuesta estructura en caso de verse expuesta a un incendio. Por otro lado las propiedades mecánicas indicativas de rigidez del hormigón, arrojaron resultados de módulo de

### **Abstract**

The present academic paper analyzed a general approach of compressive strength and rigidity behavior, through of modulus of elasticity and Poisson's ratio of a concrete. Variables utilized were polypropylene reinforcement in percentages corresponding to 0.30 % and 0.50% of cement weight; as well as laboratory furnace exposure, with the aim to emulate the increase of the temperature that happens progressively during a fire, using different temperatures (room temperature, 130°C and 180°C). In order to obtain this data, standard cylinders were manufactured for further testing.

From obtained results was concluded that the optimum percentage of polypropylene fiber considering the exposure to high temperatures was 0.50%, since it reported a significant increase in compressive strength, which would mean the preservation of the supposed structure in case of being exposed to a fire. Besides, the mechanical properties that trigger concrete's rigidity showed results of modulus of elasticity close to those established by regulations, and Poisson's ratio values obtained were close to those established in the bibliography.

---

<sup>1</sup> Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito, Sede Quito – Ecuador,  
Autor para correspondencia ✉: [amuriel@est.ups.edu.ec](mailto:amuriel@est.ups.edu.ec)

elasticidad cercanos a los que establece la normativa, y se obtuvieron valores de coeficiente de Poisson cercanos al rango establecido en la bibliografía.

***Palabras Clave:*** Coeficiente de Poisson, Fibra de polipropileno, Módulo de elasticidad, Resistencia a compresión del concreto, Rigidez del concreto.

***Keywords:*** Poisson's Ratio, Polypropylene fiber, Modulus of Elasticity, Concrete compressive strength, Concrete rigidity

## **1. Introducción**

El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados, razón por la cual es necesario conocer su comportamiento físico, químico y mecánico en condiciones normales. De igual manera, es necesario conocer las variantes de este comportamiento ante eventos extraordinarios, como por ejemplo en el caso de un incendio, que frente a las estructuras y dependiendo del sistema estructural puede producir daños totales o parciales.

Sistemas contraincendios y rutas de evacuación son las maneras más comunes de prevenir y enfrentar incendios, pero estas funcionan únicamente como medidas de contención; es decir, tienen la finalidad de salvaguardar la seguridad de los usuarios, más no para la preservación de la estructura [1].

Por otra parte, el uso de aditivos es imprescindible y, existen registros de que en el siglo XVI la paja y pelaje de caballos se usaban en bloques de ladrillo y adobe, asimismo a finales del siglo XIX se incorporó el uso de asbesto en el hormigón y fue usado ampliamente de manera industrial, pero debido a problemas que afectaban la salud de las personas fue reemplazado por las fibras en la década de los 60 y 70 [2, 3]. Adicionalmente, algunos estudios sostienen que las fibras de polipropileno aportan en la estabilidad térmica del hormigón.

Según las investigaciones reportadas por Serrano et al. [4]; el hormigón incrementa su resistencia mecánica (compresión y módulo de elasticidad) cuando alcanza hasta 280°C, manteniendo su color característico gris, a partir de los 280°C en adelante la resistencia mecánica del hormigón disminuye, presentando una pérdida del

15% aproximadamente en su resistencia a la compresión a los 400 °C.

Adicionalmente, muestra una disminución del módulo de elasticidad en un 75% cuando la temperatura varía de 20 °C hasta 400°C; la diferencia de temperatura produce altas deformaciones y esfuerzos de tensión generando agrietamiento en el hormigón. Estas fibras reducen el desprendimiento y agrietamiento de dicho material de construcción e incrementan su resistencia mecánica.

F. Robert [5] en su investigación para hormigones de 30 MPa, reporta pérdidas de la resistencia a la compresión de un 7% de especímenes expuesto a 200°C y pérdidas del 44% para especímenes expuestos a 500 °C.

Las fibras de polipropileno se funden aproximadamente entre 160°C - 170°C creando pequeños canales internos, que conjunto con la porosidad adicional generada por el calor y dichos canales reducen la presión interna de vapor, expulsando conjuntamente con los gases internos y reduciendo la probabilidad de desprendimiento del hormigón [6].

Noumowe [7] concluyó que en hormigones de alta resistencia (60-80 MPa) reforzados con fibras de polipropileno en relación al 1.8 kg/m<sup>3</sup> del volumen del hormigón y expuestos a 20°C y 200°C, existe aumento de la resistencia a la compresión entre 8-20% y aumento del 10-15% en el módulo de elasticidad para los especímenes que contienen fibra expuestos a 20°C y a 200°C. En relación a la pérdida de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para los especímenes expuestos a 200°C, con y sin contenido de fibra, reporta una pérdida entre el 28-37% y 29-33% respectivamente.

Así mismo, R. Serrano et al. [4] concluye en su investigación de

hormigones reforzados con fibras de polipropileno y de acero sometidas al fuego, que se aumentan la resistencia a la compresión entre un 5% a 9%, la deformación unitaria entre 1% y 3% y el módulo de elasticidad entre 3% a 5%.

Bajo esta premisa, en el presente trabajo se propone el uso de fibras de polipropileno, que además de tener como funciones principales eliminar la fisuración temprana mediante un aglutinamiento más uniforme de la mezcla e incremento las propiedades mecánicas en el hormigón; existen algunas investigaciones recientes que apuntan a que las fibras podrían aportar a la preservación del hormigón en el caso que se vea expuesto a temperaturas altas.

Por lo que el objetivo de la investigación es analizar comparativamente la influencia de la exposición a temperaturas altas en la resistencia a la compresión y rigidez del hormigón ordinario y reforzado con fibras de polipropileno.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Materiales

#### -Cemento

El cemento que se escogió fue de la marca Holcim®, tipo GU (uso general), con una densidad de  $3.1 \text{ gr/cm}^3$ , en concordancia de con norma NTE INEN 2380.

#### -Agua

Para el agua de mezcla se utilizó agua potable a temperatura ambiente ( $18^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}$ ).

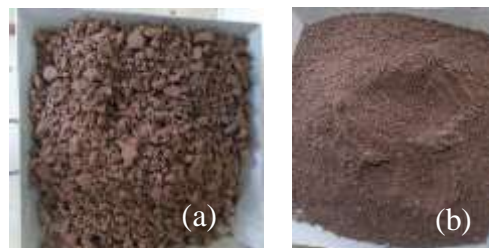
#### -Agregados

Provenientes de la cantera “Esperanza”, ubicada en la parroquia de Pintag, con un tamaño máximo nominal de 1 pulgada para el agregado grueso y módulo de

finura de 3.043 para el agregado fino; cumpliendo con los requisitos de la norma NTE INEN 696:2011. En laboratorio se obtuvieron las siguientes propiedades físicas necesarias para el diseño del hormigón, como se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Ensayos a los agregados

Ensayo	Norma
Análisis granulométrico	NTE INEN 696 (ASTM C-136)
Peso unitario suelto y compactado	NTE INEN 858 (ASTM C-29)
Peso volumétrico y porcentaje de absorción	Ag. Fino: NTE INEN 856 (ASTM C-128) Ag Grueso: NTE INEN 857 (ASTM C-127)
Contenido de humedad	NTE INEN 862 (ASTM -566)
Porcentaje de abrasión	NTE INEN 860 (ASTM C-131)



**Figura 1.** Agregado grueso (a), agregado fino (b)

#### -Fibra de polipropileno

Para el presente artículo académico se utilizaron fibras de polipropileno de la marca *EPS Fibratex*, la cual viene lista para la adición directa a la mezcla en fundas degradables de 1 kg, cantidad recomendada para mezclar en  $1 \text{ m}^3$  de hormigón, o a su vez 150 gr por quintal de cemento (0.30% referente al peso del cemento); la cual fue empleada en este trabajo experimental.

En la Tabla 2 se presentan las características físicas, acorde con la norma ASTM C-1116:

**Tabla 2:** Propiedades físicas de la fibra de polipropileno (EPS Fibratex).

Propiedad	Valor
Tamaño	¾"
Densidad	0.91 gr/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	166 °C



**Figura 2.** Fibra de polipropileno

## 2.2. Metodología del diseño del hormigón

Para el diseño de un hormigón con una resistencia a la compresión esperada de 24 MPa, se siguió la metodología propuesta por el ACI 211.1-91 [8].

Se elaboraron especímenes cilíndricos de hormigón acorde a la norma NTE INEN 3124 (ASTM C-192), para ser ensayados a la compresión, utilizando refrentado no adherido según la norma NTE INEN 2650 (ASTM C-1231).

Para la obtención de módulos de elasticidad y coeficiente de Poisson se siguió la norma ASTM C-469, los deformímetros utilizados fueron analógicos, teniendo como limitante el no poder registrar con la precisión de ningún decimal.

En estado fresco se verificó el revenimiento, mediante el ensayo del cono de Abrams según la norma NTE INEN 1578 (ASTM C-143).

Para el análisis de resistencia a la compresión y rigidez (módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson), se establecieron 3 porcentajes de fibra (0%.

0.30% y 0.50%), tomando en cuenta la recomendación para este tipo de fibra.

Como se indica en la Figura 3 los especímenes fueron expuestos a un horno de laboratorio (*Controls D-1398*) durante 4 horas, tiempo que se considera prudente para que los especímenes alcancen dicha temperatura en todo el cuerpo del cilindro.

Se eligieron a 3 diferentes temperaturas de exposición, tomando en cuenta el punto de fusión de la fibra (166 °C); la primera a temperatura ambiente, para verificar en estado natural, la segunda a 130 °C, temperatura antes del punto de fusión y la última a 180 °C, temperatura superior al punto de fusión, obedeciendo a los límites de temperatura que marca dicho horno.

En concordancia con lo antes mencionado, se obtuvieron así 9 variables y dos tipos de ensayos concatenados; por lo que se designó un total de 10 muestras, que fueron divididas en 5 para hallar la resistencia a la compresión y 5 para rigidez, obteniendo así un total de 90 cilindros dividido en 3 lotes, fabricando 30 por mezcla. Adicionalmente se realizaron cilindros testigos que fueron ensayados a los 7 y 14 días para verificar el correcto desarrollo de la resistencia a la compresión.



**Figura 3.** Horno de laboratorio (*Controls D-1398*)



### 2.3. Proceso experimental

A continuación se presenta la nomenclatura usada en los especímenes cilíndricos de (15 x 30) cm y los ensayos realizados.

**Tabla 3:** Identificación de los cilindros

%F / °C	Pr.	T. amb.	130 °C	180 °C
0	E / $\mu$	0F-B-1	0F-M-1	0F-A-1
		a	a	a
	f'c	0F-B-5	0F-M-5	0F-A-5
		a	a	a
0.3	E / $\mu$	0F-B-6	0F-M-6	0F-A-6
		a	a	a
	f'c	0F-B-10	0F-M-10	0F-A-10
		a	a	a
0.5	E / $\mu$	0.3F-B-1	0.3F-M-1	0.3F-A-1 a
		a	a	0.3F-A-5
	f'c	0.3F-B-5	0.0F-M-5	0.3F-A-6 a
		a	a	0.3F-A-10
0.5	E / $\mu$	0.3F-B-6	0.3F-M-6	0.5F-A-1 a
		a	a	0.5F-A-5
	f'c	0.5F-B-1	0.0F-M-1	0.5F-A-6 a
		A	a	0.5F-A-10
0.5	E / $\mu$	0.5F-B-5	0.5F-M-5	0.5F-A-1 a
		a	a	0.5F-A-5
	f'c	0.5F-B-6	0.5F-M-6	0.5F-A-6 a
		a	a	0.5F-A-10
0.5	E / $\mu$	0.5F-B-10	0.5F-M-10	0.5F-A-6 a
		a	a	0.5F-A-10
	f'c	0.5F-B-10	0.5F-M-10	0.5F-A-6 a
		a	a	0.5F-A-10

$\mu$ : Coeficiente de Poisson. E: Módulo de elasticidad.  
f'c: Resistencia a la compresión. %F: Porcentaje de fibra.  
°C: Temperatura en grados Celsius.  
T. amb: Temperatura ambiente.



**Figura 4.** Proceso de fabricación, moldeo y curado del hormigón

## 3. Resultados y Discusión

En este apartado se presentan los resultados correspondientes antes de realizar la mezcla (etapa preliminar), lo que contempla ensayos a los agregados y diseño teórico del hormigón. Así como los resultados después de realizar la mezcla (etapa final), donde se tabulan la resistencia y rigidez del hormigón en función de las variables, porcentaje de fibra de polipropileno y temperaturas a las que fue expuesto.

### 3.1 Etapa preliminar

En esta etapa se presentan los resultados de la caracterización de los agregados, como

se muestra en la Tabla 4, y el diseño de la mezcla para un hormigón de resistencia de 24 MPa, como se indica en la Tabla 5.

**Tabla 4:** Caracterización de los agregados

Propiedad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de finura	3.043	-
Tamaño Máximo nominal (in)	-	1
Porcentaje de Abrasión (%)	-	29.20
P. Unitario Suelto (kg/m³)	1412.87	1340.41
P. Unitario Compactado (kg/m³)	1621.11	1472.15

P. Específico sólido (kg/m <sup>3</sup> )	2638.04	2528.80
P. Específico masivo (kg/m <sup>3</sup> )	2222.07	2322.12
P. Específico SSS (kg/m <sup>3</sup> )	2379.75	2403.85
Contenido de Humedad (%)	*	*
Porcentaje de Absorción (%)	7.10	3.52

\*Varía según el lote

**Tabla 5:** Diseño del hormigón 24 MPa

Material	Cantidad en peso para 1 m <sup>3</sup> kg	Cantidad un quintal de cemento kg	Dosificación
Cemento	323.83	50.00	1.00
A. Grueso	956.89	147.75	2.95
A. Fino	688.87	106.36	2.13
Agua	193.00	29.80	0.60
Fibra (0.30%)	0.97	0.15	0.003
Fibra (0.50%)	1.62	0.25	0.005
Factor cemento		6.48	

En cuanto a la variación de las características físicas en las mezclas con inclusión de fibras de polipropileno en estado fresco, se puede anotar que:

-La fibra no presentó problemas de disgregación en la concretara ni en los especímenes, y se repartió de manera uniforme en la mezcla.

-La trabajabilidad no se vio afectada significativamente por la fibra debido al largo y espesor de la misma.

-El revenimiento disminuyó entre 2.5 a 3 cm, debido a la mayor pérdida de humedad.

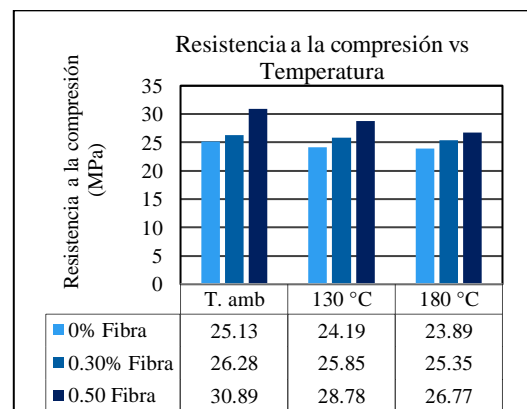
### 3.2 Etapa final

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos a compresión y resultados de los módulos de elasticidad y coeficiente de Poisson.

Adicionalmente, en estado fresco se obtuvo un revenimiento entre 6 cm a 8 cm, para las mezclas sin fibra lo que entra en el rango propuesto (7.5 cm – 10 cm), y las mezclas con contenido de fibra el revenimiento fue de 4 cm a 7 cm, debido al aumento de volumen y por ende pérdida de humedad.

### -Resistencia a la compresión ( $f'_c$ )

En el siguiente apartado se tabulan los resultados obtenidos del ensayo en función de las variaciones de la temperatura y del porcentaje de fibra, indicadas en las Figuras 5 y 6. Dichos resultados son el reflejo de un promedio aritmético para cada muestra de cada variable, según la nomenclatura señalada.



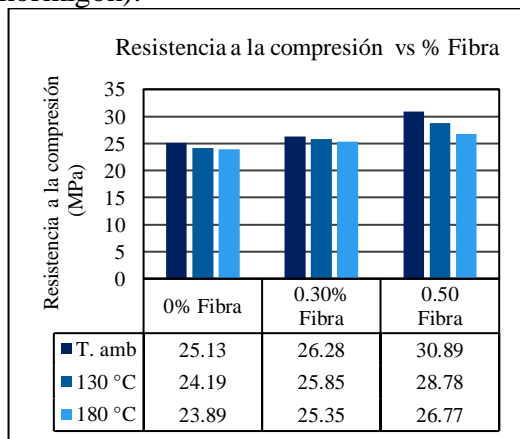
**Figura 5.** Resultados de la resistencia a la compresión en función de las diferentes temperaturas para cada porcentaje de fibra.

Una vez obtenidos los resultados para diseño del hormigón propuesto de 24 MPa de resistencia a la compresión, como era de esperar, se observa en la Figura 5 un incremento de dicha resistencia de manera considerable en los especímenes ensayados a temperatura ambiente con un porcentaje de 0.50% de fibra, alcanzando 30.89 MPa. Para los especímenes ensayados a 130 °C y 180 °C el aumento de dicha resistencia aumentó en menor proporción, debido a la pérdida de las

propiedades físicas de las fibras al ser expuestas a dichas temperaturas, adicionalmente, se refleja un comportamiento similar en el hormigón sin adición de fibras.

En relación con los resultados obtenidos por Serrano et al. [4], que arrojaron aumento de la resistencia a la compresión del hormigón aproximadamente del 5-9% en especímenes con contenido de fibra del 1% y 2%, y los obtenidos por Noumowe [7] que reporta un aumento de la misma del 8-20%. En el caso de la presente investigación se reporta un aumento del 4.38% y 18.65% para los especímenes con contenido de fibra del 0.30% y 0.50%.

Con esto se observa que la presencia de fibras sí incide en las resistencias generadas por el hormigón, independientemente de los distintos escenarios (cantidad fibras y tipo de hormigón).



**Figura 6.** Resultados de la resistencia a la compresión en función del porcentaje de fibra para cada temperatura.

Por otra parte como se muestra en la Figura 6, la pérdida de resistencia a la compresión en comparación con la exposición a las temperaturas, para los cilindros sin adición de fibra y con contenido de 0.30% fue mínima, mientras que para los que contienen 0.50% de fibra la pérdida fue mayor, por la razones expuestas anteriormente. Sin embargo,

incluso a altas temperaturas el hormigón con más adición de fibra siguió mostrando mejores prestaciones que aquellos sin fibras o con menor adición.

En comparación con los resultados obtenidos por Serrano et al. [4], y Robert [5] que arrojaron una correlación de pérdidas de la resistencia a la compresión del hormigón aproximadamente del 7% a una temperatura de 200 °C, y los obtenidos por Noumowe [7] que reporta una pérdida de la misma del 28-37%, para la presente investigación se presenta una pérdida del 4.93% para los especímenes expuestos a 180 °C, con lo que se evidencia una ligera disminución en referencia los dos primeros autores, pero existe una discrepancia en cuanto al tercer autor, lo que se atribuye a que éste lo realiza para hormigones de alta resistencia.

Adicionalmente, se calculó la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación (CV) para cada una de las variables, obteniendo los siguientes resultados, presentada en la Tabla 6.

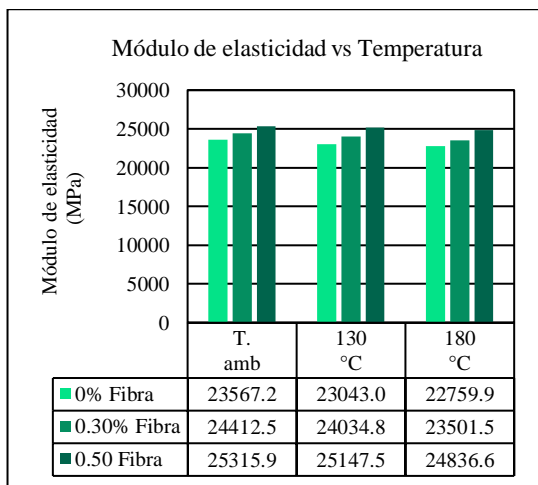
**Tabla 6.** Resultados de desviación estándar y coeficiente de variación

T °C	T. amb	130 °C	180 °C
<b>0 % DE FIBRA</b>			
<b>S (MPa)</b>	0.66	1.25	0.75
<b>CV</b>	0.026	0.052	0.031
<b>0.30 % DE FIBRA</b>			
<b>S (MPa)</b>	1.74	1.87	2.32
<b>CV</b>	0.066	0.072	0.092
<b>0.50 % DE FIBRA</b>			
<b>S (MPa)</b>	1.41	0.62	1.94
<b>CV</b>	0.046	0.022	0.073

Como se evidencia, se obtuvieron desviaciones entre 0.66 MPa – 2.32 MPa y coeficientes de variación menores a 1, lo que significa que los resultados fueron homogéneos y con una dispersión baja.

### -Módulo de elasticidad ( $E$ )

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para determinar el módulo de elasticidad en función de las variaciones de la temperatura y del porcentaje de fibra, indicadas en las Figuras 7 y 8, cabe recalcar que los valores presentados reflejan el de los especímenes que arrojaron los resultados más representativos para cada muestra de cada variable, debido a las limitaciones presentadas en dicho ensayo y a que se toma como dato de esfuerzo de rotura ( $f_c$ ) del hormigón al promedio obtenido de los especímenes sometidos a compresión.

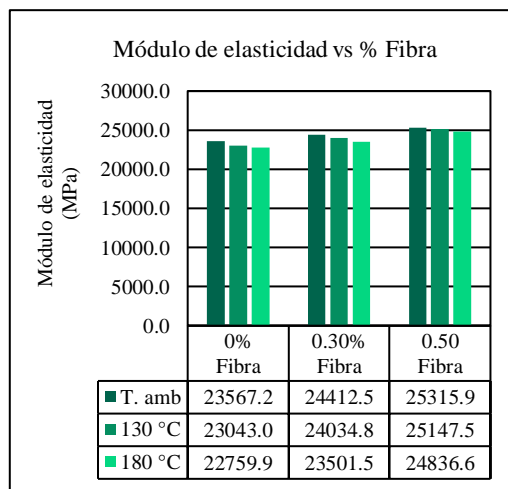


**Figura 7.** Resultados de módulo de elasticidad en función de las diferentes temperaturas para cada porcentaje de fibra

En la Figura 7 se evidencia el aumento gradual de los valores de módulo de elasticidad en función del aumento del contenido de fibra para cada una de las temperaturas, debido a que esta propiedad es directamente proporcional a la resistencia a la compresión, evidenciando un incremento en los especímenes con contenido de fibra de polipropileno,

En comparación con los resultados obtenidos por Serrano et al. [4], y por Noumowe [7] que arrojaron aumento en el módulo de elasticidad en hormigones reforzados con fibra, entre el 3-5% y 10-

15% respectivamente. La presente investigación reporta un aumento de dicha propiedad de 3.46%, 4.13% y 3.16% para los especímenes con 0.30% de fibra respecto al orden de las temperaturas analizadas frente al hormigón sin fibra; y un aumento de 6.91%, 8.37% y 8.36% para los que tienen 0.50% de fibra en las respectivas temperaturas frente al hormigón sin fibras. Se evidencian ciertas variaciones con respecto a la bibliografía citada, a lo que se atribuye condiciones distintas de ensayo, variación en el contenido de fibra y resistencias a la compresión esperadas distintas.



**Figura 8.** Resultados de módulo de elasticidad en función del porcentaje de fibra para cada temperatura.

En la Figura 8 se puede observar la pérdida de módulo de elasticidad una vez expuestos a las dos temperaturas propuestas.

Acorde con lo esperado, se presenta una disminución de dicha propiedad de 2.27%, 1.57% y 0.67% a medida que se incrementaba el contenido de fibra para los especímenes expuestos a 130°C comparados con los especímenes de hormigón ensayado a temperatura ambiente. Adicionalmente, hubo una disminución de 3.55%, 3.88% y 1.93% con cada incremento de fibra para los hormigones expuestos a 180°C al ser

comparados contra los hormigones ensayados a temperatura ambiente.

Con respecto a los valores establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, capítulo “Estructuras de Hormigón-2015” (NEC-SE-HM) para cálculo de módulo de elasticidad empírico en función de la resistencia a la compresión esperada ( $f'_c$ ), valor tomado de los resultados presentados anteriormente; presenta la siguiente expresión (1) para hormigones de densidad normal ( $3.0 \text{ gr/cm}^3 - 3.1 \text{ gr/cm}^3$ ) y expuesto a condiciones sísmicas, dicha ecuación es basada del código ACI-318S-14.

$$E = 4700 * \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

En la Tabla 7 se presenta la comparación entre los valores de módulo de elasticidad calculados con respecto a los de la norma para cada variable, en función del porcentaje de fibra y temperatura expuesta.

**Tabla 7.** Comparación de los de módulo de elasticidad (MPa) calculados con respecto a los empíricos según la NEC-SE-HM

%F/ T °C	E Cal (MPa)	E NEC (MPa)	Variación (%)
<b>0% de Fibra</b>			
<b>T. amb</b>	23567.2	23562.9	0.02%
<b>130°C</b>	23043	23118.5	0.33%
<b>180°C</b>	22759.9	22973.9	0.93%
<b>0.30% de Fibra</b>			
<b>T. amb</b>	24412.5	24093.56	1.32%
<b>130°C</b>	24034.8	23897.2	0.58%
<b>180°C</b>	23501.5	23663.8	0.69%

<b>0.50% de Fibra</b>			
<b>T. amb</b>	25315.9	26123	3.09%
<b>130°C</b>	25147.5	25214.3	0.26%
<b>180°C</b>	24836.6	24317.1	2.14%

#### -Coeficiente de Poisson ( $\mu$ )

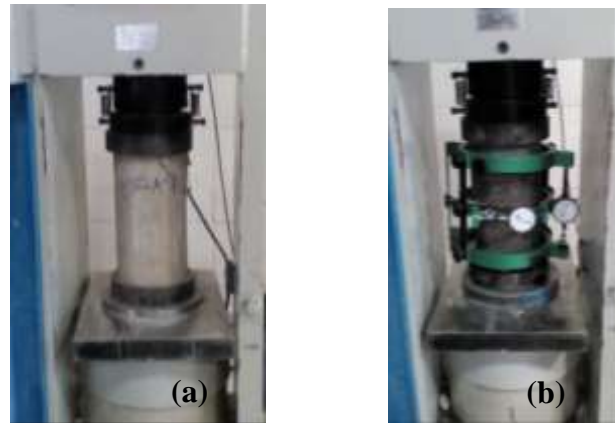
Siguiendo la misma metodología para el cálculo de módulo de elasticidad, los valores adoptados de coeficiente de Poisson para cada una de las variables de contenido de fibra y temperatura expuesta, reflejan el de los especímenes que arrojaron los resultados más representativos para cada muestra de cada variable, los que se presentan a continuación en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Coeficiente de Poisson para cada una de las variables de porcentaje de fibra y temperatura expuesta

%F / T °C	$\mu$		
	0% de Fibra	0.30% de Fibra	0.50% de Fibra
<b>T. amb</b>	0.16	0.19	0.30
<b>130°C</b>	0.24	0.15	0.17
<b>180°C</b>	0.12	0.16	0.23

Adicionalmente, lo que se puede concluir es que los valores de coeficiente de Poisson se encuentran dentro de un rango aceptable para los valores referenciales de la bibliografía para el hormigón (0.20 – 0.30).





**Figura 9.** Ensayo de resistencia a la compresión (a), ensayo para determinar el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson (b).



**Figura 10.** Exposición al horno de los especímenes cilíndricos.



**Figura 11.** Resultados de ensayos realizados

#### **4. Conclusiones**

El diseño propuesto para un hormigón de resistencia a la compresión de 24 MPa, con la adición de fibras de polipropileno presentó un aumento la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del hormigón, además se obtuvieron los valores de coeficiente de Poisson en el rango sugerido por la bibliografía. De manera puntual se concluye que:

- Se incrementó la resistencia a la compresión en un 19% con la adición de 0.50% de fibra, pero existió una pérdida del 13% en dicha resistencia una vez expuesto a 180 °C.

- En los especímenes con adición de fibra del 0.30%, el aumento de la resistencia a la compresión fue del 5% y la pérdida de esta resistencia a temperatura de 180 °C fue tan solo del 3.53%.

- Se obtuvieron desviaciones estándar entre 0.66 MPa – 2.32 MPa y coeficientes de variación menores a 1 para todas las variables, lo que significa que los resultados fueron homogéneos y con una dispersión baja.

- Por lo que se resume que el porcentaje óptimo de fibra de polipropileno, tomando en cuenta la exposición a temperaturas altas, es del 0.50% respecto al peso del cemento de mezcla. Ya que además de aumentar la resistencia a la compresión y aun perdiendo ésta en condiciones de exposición a las temperaturas presentadas, reportó mayor resistencia a la compresión y módulos de elasticidad que todos los especímenes para todas las variables.

- Los resultados de módulo de elasticidad arrojaron resultados similares con respecto a los calculados empíricamente con la expresión (1) de la NEC-SE-HM.

- Los resultados de coeficiente de Poisson se mantuvieron cercanos al rango establecido por la bibliografía.

Adicionalmente, la presente investigación permitió arrojar las siguientes conclusiones generales:

- La incorporación de fibras de polipropileno, además de cumplir su función principal de disminuir o eliminar el agrietamiento en elementos de hormigón, sirve como un aditivo para aumentar la resistencia a la compresión; es decir aumentar su calidad, pero además la adición en porcentajes adecuados ayuda a la preservación del hormigón ante posibles exposiciones a temperaturas altas o en el caso de ocurrir un incendio.

- La fibra de polipropileno al ser un aditivo no interfiere en el diseño teórico del hormigón, por lo que no necesita especial atención en esta etapa.

- El costo de la fibra en relación a otros aditivos es competente en el mercado, y la inclusión de la misma en la mezcla del hormigón es bastante simple, ya que viene listo para ser incorporado a la concretara o mixer y no necesita capacitación especial.

#### **5. Recomendaciones**

En base al proceso experimental en laboratorio y los resultados arrojados por el mismo, se sugieren las siguientes recomendaciones para una continuación de esta línea:

- Para efectuar los ensayos de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson se requieren condiciones óptimas del espécimen; es decir recurrir a un refrentado adherido para garantizar que las caras del mismo cumplan las tolerancias mínimas en cuanto a planicie y regularidad. Por otro lado, el dispositivo encargado de medir las deformaciones transversales y longitudinales debería ser

digital para registrar con precisión en decimales y en lo posible, contar con un dispositivo automático, donde permita registrar el esfuerzo de rotura y de datos exactos para obtener la curva de esfuerzo vs deformación unitaria.

-Con respecto a la fibra de polipropileno tomar en cuenta los tamaños recomendables (largo de la fibra), ya sea según el ACI 544-1R-96 en función del tamaño del agregado máximo nominal, o la recomendación del fabricante en función del elemento constructivo a ser incorporada.

## Referencias

- [1] C. D. Eamon y E. Jensen, «Reliability analysis of reinforced concrete columns exposed to fire,» *Fire Safety Journal*, vol. 62, pp. 221-229, 2012.
- [2] Sika Colombia S.A.S., «"Concreto Reforzado con Fibras",» Barranquilla, 2016.
- [3] ACI Committee 544.1R-96 (R 2002), Report on Fiber Reinforced Concrete, Detroit: American Concrete Institute, 1996.
- [4] R. Serrano, A. Cobo, M. I. Prieto y M. d. I. N. González, «Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers,» *Construction and Building Materials*, vol. 122, pp. 302-309, 2016.
- [5] F. Robert, «Fire resistance assessment of concrete structures,» de *Workshop 'Structural Fire Design of Buildings according to the Eurocodes'*, Brussels, 27-28 Nov. 2012.
- [6] M. Uysal y H. Tanyildizi, «Estimation of compressive strength of self compacting concrete containing polypylene fiber and mineral additives exposed to high temperature using artificial neural network,» *Construction and Building Materials*, vol. 27, pp. 404-414, 2012.
- [7] A. Noumowe, «Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibers exposed to temperatures up to 200 °C,» *Cement and Concrete Research*, vol. 35, pp. 2192-2198, 2005.
- [8] ACI Committee 211.1-91 (R 2002), Standard Practice for Selecting Properties for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, Detroit: American Concrete Institute, 1991.